

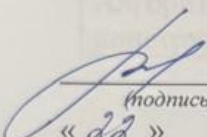
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКБ «Проектирование и информационное моделирова-
ние зданий и сооружений»

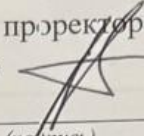
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС

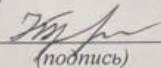
 (подпись) Е.М. Димитриади
«22» 05 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной ра-
боте

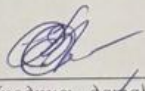
 (подпись) А.В. Космынин
«28» 05 2025 г.

Декан факультета кадастра и
строительства

 (подпись) Н.В. Гринкруг
«22» 05 2025 г.

«Исследование эффективности вантовых конструкций»
Комплект проектной документации

Руководитель СКБ

 (подпись, дата)

Е.В. Журавлева

Руководитель проекта

 (подпись, дата)

О.Е. Сысоев

Комсомольск-на-Амуре 2025

Карточка проекта

Название	Название
Тип проекта	Тип проекта: научно-исследовательский проект
Исполнители	Студент Надежкин М.Е. гр. 2ПСб-1 Студент Яшков А.И. гр. 2ПСб-1
Срок реализации	10 января – 20 мая

Использованные материалы и компоненты

Наименование	Количество, шт.
Конструктивные схемы вантовых конструкций	2
Алгоритмы расчетов вантовых конструкций	1

Наименование работ	Срок
Выбор конструктивной схемы вантовых конструкций	10.01.2023
Объемно-планировочные решения зданий и сооружений вантовых конструкций	10.02.2023
Принятие формообразования вантовых покрытий	10.03.2023
Исследование разнообразия форм сооружений с вантовыми покрытиями в плане	10.04.2023
Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий	10.05.2023
Система расчета вантовых покрытий	10.05.2023

Руководитель проекта

О.Е. Сисога

О.Е. Сисога

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ
на разработку

Название проекта: Исследование эффективности вантовых конструкций

Назначение: Проект направлен на глубокое изучение и оптимизацию проектирования вантовых систем, которые находят широкое применение в современном строительстве и инженерии. Выполнение анализа позволит повысить надежность, безопасность и экономическую эффективность сооружений, использующих такие конструкции. Назначение данного проекта заключается в разработке методологии, предназначенной для расчета и оценки устойчивости вантовых конструкций. Эти конструкции характерны использованием натянутых тросов, которые обеспечивают необходимую поддержку кровли, мостов и других элементов. Основная цель - создать инструмент, позволяющий инженерам и проектировщикам точно и быстро производить необходимые расчеты и моделирование.

Область использования Вантовые конструкции применяются при возведении спортивных арен, павильонов, ангаров и мостов, что делает проект актуальным как для новых построек, так и для реконструкции существующих сооружений. Система расчетов также будет полезна для учебных заведений в рамках образовательного процесса, поскольку обеспечит студентов необходимыми инструментами для понимания механики и проектирования сложных структур.

Функциональное описание проекта: Оптимизация расчетов вантовых конструкций с использованием ПЭВМ

Техническое описание устройства:

- 1) выбор конструктивной схемы вантовых конструкций

- 2) Объемно-планировочные решения зданий с использованием вантовых конструкций
- 3) Принцип формообразования вантовых покрытий
- 4) Исследование разновидностей форм сооружений с вантовыми покрытиями в плане
- 5) Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий
- 6) Основы расчета подвесных покрытий

Требования: обеспечить безопасные условия труда при строительстве объекта, оптимизировать расход ресурсов при возведении объектов

План работ:

Наименование работ	Срок
Выбор конструктивной схемы вантовых конструкций	10.01.2025
Объемно-планировочные решения зданий с использованием вантовых конструкций	10.02.2025
Принцип формообразования вантовых покрытий	10.03.2025
Исследование разновидностей форм сооружений с вантовыми покрытиями в плане	10.04.2025
Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий	10.05.2025
Основы расчета подвесных покрытий	20.05.2025

Руководитель проекта

(подпись, дата)

О.Е. Сысоев

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ПАСПОРТ

«Исследование эффективности вантовых конструкций»

Руководитель проекта

(подпись/дата)

О.Е. Сысоев

Комсомольск-на-Амуре 2025

Содержание

Введение.....	7
1 Выбор конструктивной схемы вантовых конструкций.....	8
1.1 Виды висячих оболочек с параллельными вантами.....	8
1.2 Оболочки с радиальными вантами.....	10
2 Объемно-планировочные решения зданий с использованием вантовых кон- струкций.....	11
3 Принцип формообразования вантовых покрытий.....	13
4 Исследование разновидностей форм сооружений с вантовыми покрытиями в плане.....	14
5 Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий.....	27
6 Основы расчета подвесных покрытий.....	35
6.1 Расчет висячих оболочек с параллельными вантами.....	35
6.2 Расчет висячих оболочек с радиальными вантами.....	38
Заключение.....	41
Список использованных источников.....	43

Введение

При проектировании и строительстве зданий с обширными зальными пространствами, архитекторы и инженеры сталкиваются с комплексом сложных задач. Для создания благоприятного микроклимата внутри зала, обеспечения соответствия технологическим требованиям, достижения оптимальной акустики и звукоизоляции от окружающей среды, определяющее значение имеет структура перекрытия. В современной строительной индустрии все большую популярность приобретают вантовые системы. Они оказывают значительное влияние на внешний вид зданий с большими пролетами, находят применение в сооружениях со сложной пространственной композицией, а их эстетические качества расширяют горизонты архитектурного проектирования. Технические характеристики вантовых конструкций открывают новые перспективы в решении сложных функциональных, технологических и технических задач, возникающих при проектировании масштабных общественных и промышленных объектов.

Возрастающий интерес к подвесным конструкциям обусловлен, прежде всего, их экономической эффективностью, умеренным использованием материалов и принципиально новыми возможностями, которые они предоставляют для решения комплексных архитектурных, планировочных и конструктивных проблем.

Способность перекрывать большие площади без необходимости в промежуточных опорах устраняет конструктивные ограничения в организации гибкой планировки здания, позволяя адаптировать его к разнообразным, изменяющимся потребностям, эффективно использовать пространство в соответствии с требованиями производства, повседневной деятельности и общественных нужд, гарантируя универсальность конструкции и сооружения на протяжении длительного срока службы.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		7

1 Выбор конструктивной схемы вантовых конструкций

1.1 Виды висячих оболочек с параллельными вантами

Висячие оболочки подразделяют на оболочки с параллельным и радиальным расположением вант. Их также называют однопоисными системами.

Оболочки с параллельно расположенными вантами наиболее просты в конструктивном исполнении и их применяют для прямоугольных в плане зданий (рис. 1).

По типу кровли они могут быть сборные и монолитные, однопролетные и многопролетные. Монолитные по сравнению со сборными обладают большей сопротивляемостью образованию трещин, но не отвечают требованиям индустриализации строительства.

Конструкция висячей оболочки представляет собой систему параллельных вант, закрепленных на незамкнутом контуре (рис. 1а), роль которого может выполнять железобетонная или стальная балка (рис. 1а), либо каркас пристройки (рис. 1б).

Шаг вант t рекомендуется принимать равным 1,5...2,0 м, а стрелу провисания f назначают в пределах $1/10...1/25$ от l (l – перекрываемый пролет).

При наличии требований по ограничению объема здания, а, следовательно, и покрытия можно назначать меньшее значение стрелы провисания. Однако в этом случае усилия в вантах и опорных конструкциях возрастают, что приводит к увеличению расхода материалов.

Опорные элементы (балки), воспринимающие распор от вант, могут иметь прямоугольное, двутавровое или другое сечение. Ширину сечения b и высоту h в зависимости от шага колонн d ориентировочно можно принять равными $d/10$ и $d/15$ соответственно.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		8

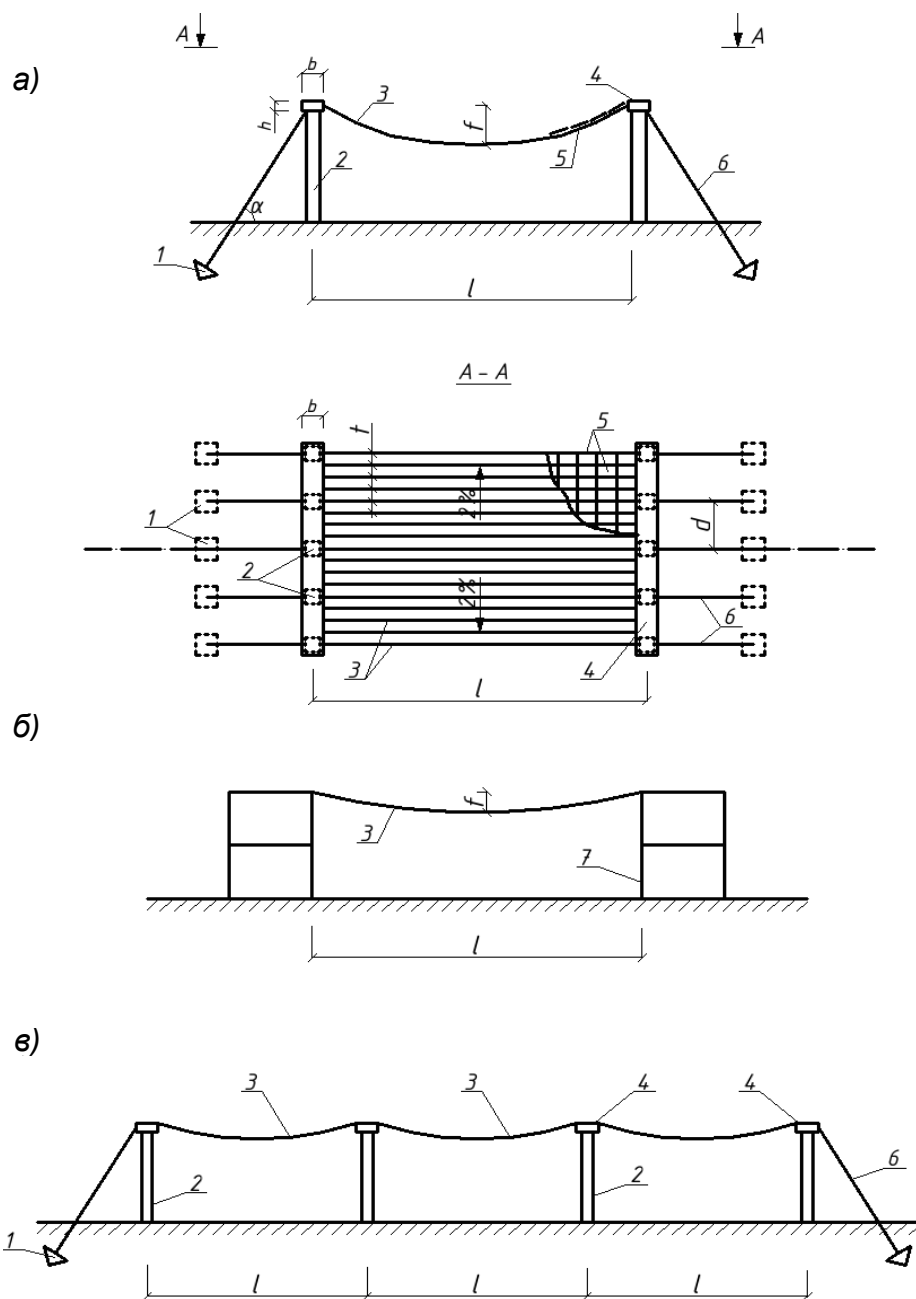


Рис. 1. Схемы висячих оболочек с параллельными вантами:
а, б – однопролетные, в – многопролетная; 1 – анкерные
фундаменты, 2 – колонны, 3 – ванты, 4 – бортовой элемент, 5 – плиты кров-
ли, 6 – оттяжки, 7 – каркас пристройки

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000

Лист

9

1.2 Оболочки с радиальными вантами

Однопоясные покрытия с радиальным расположением вант применяются для круглых в плане сооружений. Зданиями такого типа в аэропорто-строении могут быть аэровокзалы, автостоянки, грузовысклады и т.д. Суще-ствуют две формы покрытия: вогнутая и шатровая (рис. 2).

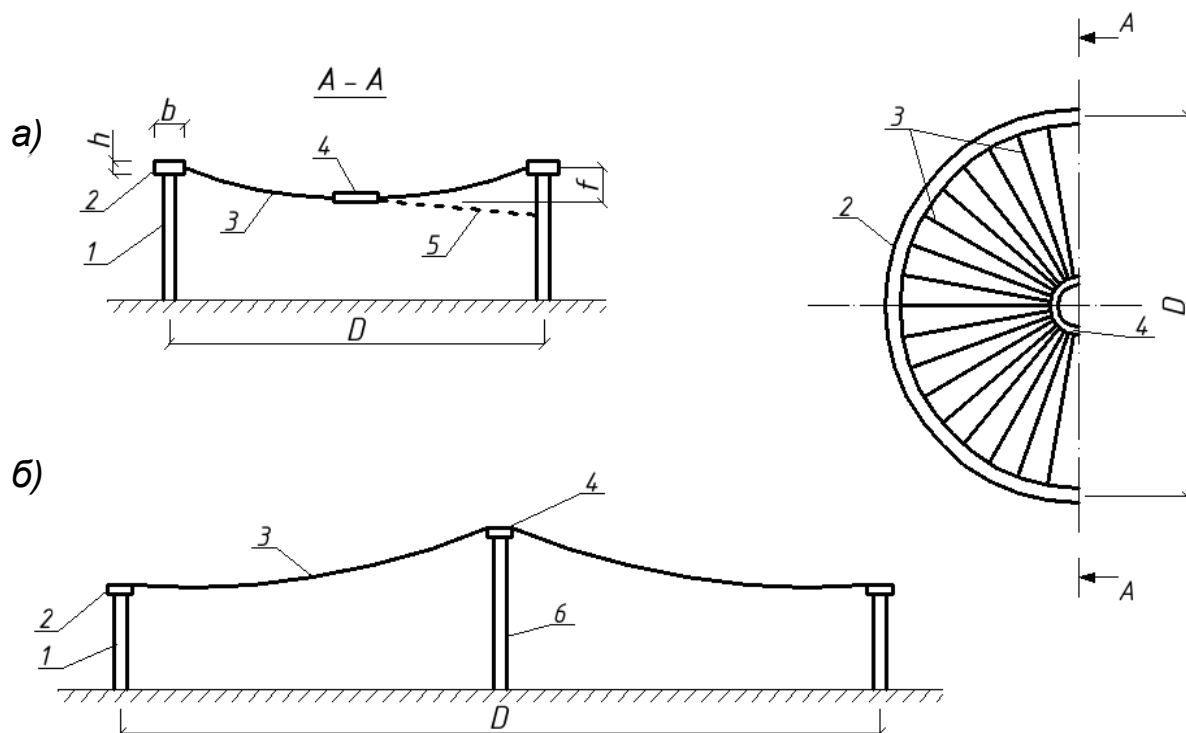


Рис. 2. Схемы висячих оболочек с радиальными вантами: вогнутое (а) и шатровое (б) покрытия; 1 – колонны, 2 – наружное опорное кольцо, 3 – ванты, 4 – центральное кольцо, 5 – водоотводящая труба, 6 – центральная стойка в виде колонны

Основным достоинством оболочек с радиальными вантами является практически без изгибная работа ее пролетных элементов, что обеспечивает экономичность и наибольшую несущую способность последних.

Наружное кольцо воспринимает распор от вант и работает на сжатие, а внутреннее – на растяжение. Поэтому первое целесообразно выполнять из железобетона, а второе – из стали.

Общим недостатком однопоясных покрытий является большое количество типоразмеров трапецевидных железобетонных плит, укладываемых на

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000

Лист

10

ванты, а покрытие, изображенное на рис. 2а, требует устройства сложных водоотводящих систем.

Следует заметить, что однопоясные радиальные системы работают по вантовой схеме только в стадии монтажа, а после заливка межплитных швов бетоном и обжатия плит они превращаются в железобетонные висячие оболочки.

2 Объемно-планировочные решения зданий с использованием вантовых конструкций

Крытые стадионы – важный элемент современной городской среды, часто становясь выразительным архитектурным акцентом в планировке и облике населённых пунктов. Их влияние и важность особенно заметны в составе масштабных спортивных комплексов, возведение которых предполагает масштабное перепланирование городских участков, решение транспортных вопросов и проведение значительных работ по улучшению инфраструктуры. Ключевой архитектурной чертой таких стадионов является гармоничное сочетание их внешнего и внутреннего вида, тесно связанное с конструкцией перекрытий и технологиями их строительства.

Эмоциональное воздействие интерьеров крытых стадионов часто превосходит впечатление от их внешнего вида, поскольку внутри ощущается масштаб перекрытия и конструктивные особенности. Примеры: бассейн Йойоги, Малый дворец спорта в Риме, велотрек в Москве, Дворец спорта в Мехико. Выразительности интерьерам добавляет освещенное игровое поле с яркой разметкой.

В выдающихся спортивных аренах архитектурный замысел подчеркивает взаимодействие ключевых несущих элементов и поддерживаемых ими конструкций. Этот принцип наглядно демонстрируется в комплексе Йойоги, купольных конструкциях римских стадионов, мембранной кровле универсального зала в Измайлово, а также в мачтах и вантовой системе покрытия

					СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		11

олимпийских объектов в Мюнхене. Простота и четкость этого подхода особенно заметны в облике зимнего стадиона в Скво-Велли (США).

Архитектура нового "Уэмбли" основана на круглой форме. Продуманная планировка обеспечивает хорошую видимость внутри стадиона, несмотря на его масштаб. Симметрия в расположении лестниц, входов и других элементов облегчает навигацию. Центральным элементом является футбольное поле с трибунами, образующее чашу размером 105 на 69 метров, включающую зону безопасности.

В спортивных сооружениях конструкция перекрытий часто тесно переплетена с планировкой, особенно с расположением зрительских мест. Примеры этого можно увидеть в различных зданиях:

1 Крытая арена в Нью-Хавене демонстрирует это, где форма трибун, очерченная стеной, поддерживающей вантовое покрытие, практически идеально соответствует оптимальной кривой обзора для зрителей.

2 Аналогичная ситуация наблюдается в бассейне Йоёги.

3 Арена в Рэлее и спортивный зал в Людвигсгафене служат примерами, где выбранная конструкция перекрытия идеально сочетается с оптимальной формой трибун.

В целом, эти примеры показывают, что конструкция перекрытий и расположение зрительских мест в спортивных сооружениях часто проектируются как единое целое для достижения оптимальной функциональности и эстетики.



Рис.3 - Плавательный бассейн Йоёги в Токио

					СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		12

3 Принцип формообразования вантовых покрытий

На объемно-пространственную структуру зданий, образованных вантовыми конструкциями, влияют следующие особенности структуры здания:

1) форма сооружения в плане:

- криволинейное очертание плана;
- прямоугольное очертание плана;
- произвольное очертание плана.

2) форма геометрической поверхности покрытия:

- плоские;
- цилиндрические;
- поверхности вращения;
- седлообразные;
- складчатые;
- спиральные;
- воронкообразные.

3) форма и вид опорного контура.

В зависимости от вида поддерживаемого покрытия существуют следующие виды опорных конструкций:

- опорные конструкции струнных покрытий;
- опорные конструкции однопоясных и двухпоясных покрытий с параллельными вантами;
- опорные конструкции однопоясных и двухпоясных покрытий с радиальными вантами;
- опорные конструкции вантовых сетей;
- опорные конструкции подвесных покрытий.

Данные особенности структуры здания формируются в зависимости от принятой конструктивной схемы висячих покрытий, которые подразделяются на:

- струнные,

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		13

- однопоясные,
- двухпоясные,
- сетчатые,
- подвесные.

4. Исследование разновидностей форм сооружений с вантовыми покрытиями в плане

Форма плана зданий, образованных вантовыми конструкциями, может быть:

- криволинейная (круг, эллипс, овал, параболическая кривая, спираль, комбинированная с применением кривых различных форм и др.);
- прямолинейная (квадрат, прямоугольник, трапеция, многоугольник и др.);
- комбинированная (сочетание кривых и прямолинейных элементов).
- Таким образом, очевидно, что здания с вантовыми конструкциями могут быть практически любой формы.

Криволинейное очертание плана.

Для спортивно-зрелищных залов, выставочных павильонов, рынков, ресторанов, кафе и других общественных зданий, и сооружений круглая и овальная конфигурация в плане является наиболее рациональной. Есть и такие типы зданий, например, цирки, планетарии, синерамы, для которых такое очертание плана почти единственно возможное. Центрическая форма плана удовлетворяет различным функциональным и технологическим требованиям и открывает большие возможности для архитектурно- конструктивных решений зданий и сооружений. Примером сооружения с круглым планом может служить ярмарочный павильон в Оклахома-Сити.

					СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		14

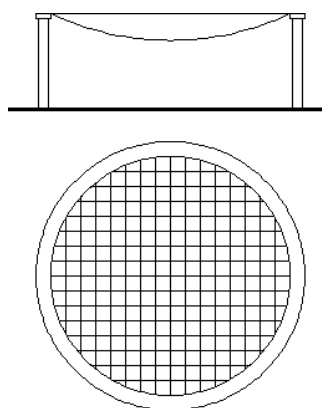


Рис. 4 - Ярмарочный павильон в Оклахома-Сити с круглым планом

Овальные в плане здания по своей архитектурной выразительности и по функциональным возможностям очень близки к круглым в плане зданиям. Для ряда общественных мероприятий (кино, спорт, концертные представления) они могут оказаться и более рациональными. Для овальных зданий характерны выразительные объемно-пространственные решения. Разные соотношения диаметров овала позволяют находить такие пластические нюансы, которые невозможны в круглых зданиях.

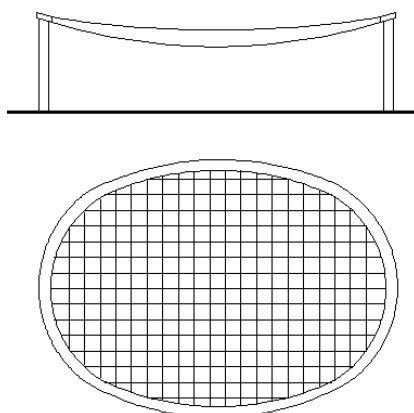


Рис. 5 - Бассейн в Нейнкирхене с овальным планом

Прямоугольное очертание плана.

Прямоугольная и квадратная форма плана позволяет блокировать основной объем со вспомогательными помещениями, которые почти всегда сопутствуют зданиям самого различного назначения, развивать первоначальные объемы уже в процессе эксплуатации этих зданий.

Прямоугольными или квадратными в плане могут быть решены почти все основные типы общественных зданий и сооружений: спортивно зрелищ-

ные, культурно-бытовые, торговые, учебные и т.п. Здания квадратные в плане близки по своему объемно-пространственному решению к прямоугольным зданиям, но по функциональным характеристикам они уступают последним, так как всегда получается жесткая планировка.

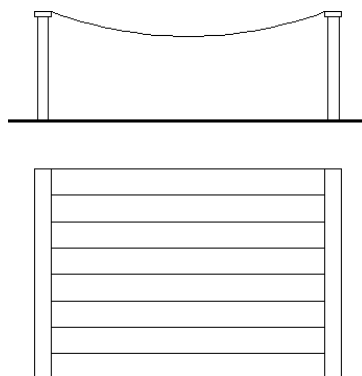


Рис. 6 - Пример здания с прямоугольным планом

Произвольные очертания плана.

Сложные, разнохарактерные технологические и функциональные требования, предъявляемые сегодня к некоторым типам зданий и сооружений, вынуждают архитекторов искать новые, не встречающиеся ранее архитектурно-планировочные и конструктивные решения. Часто функциональная и планировочная схема с большим трудом вписывается в жесткий ритм внутренних опор, в пространство, образованное какой-либо конструкцией большепролетного покрытия. В этом случае ставится задача найти новые архитектурно-планировочные решения зданий или сооружений, отличные от привычных, установившихся четких геометрических форм, внешних контуров, определенных конструктивных схем. В связи с этим в современной архитектуре получили развитие сооружения с произвольной формой плана.

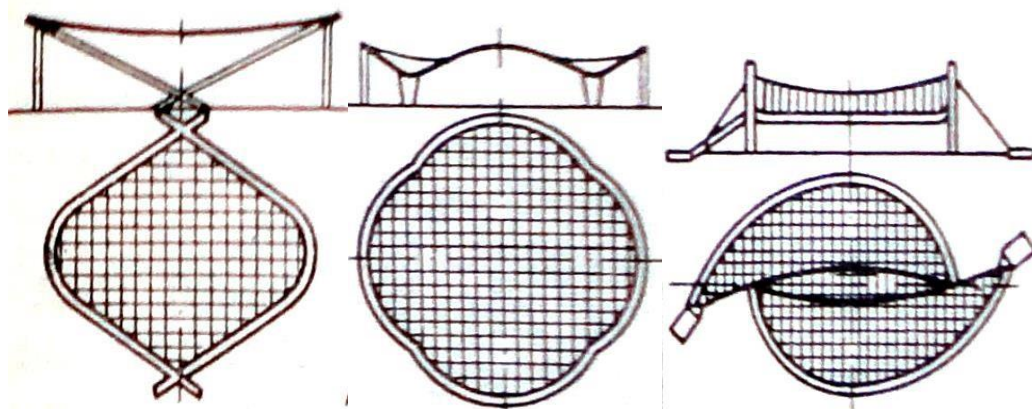


Рис. 7 - Здания с произвольным очертанием плана:
а – Рэлей-арена; б – стадион в Ростове; в – плавательный бассейн в Токио

Произвольный план здания или сооружения позволяет нередко осуществить любую планировочную организацию помещений. Такое расположение помещений, не сдерживаемое формой плана и определенное заранее заданной конструктивной схемой, позволяет в ряде случаев получить удобную планировку и вместе с тем найти оптимальную конструктивную форму при архитектурной целостности всего здания или сооружения.

Висячие вантовые конструкции позволяют создавать такие поверхности, которые при произвольном плане могут наиболее полно отвечать, как архитектурно-пластическим, так и конструктивным требованиям. Особые трудности возникают при расчете конструкций покрытий. Здание или сооружение с произвольной формой плана может иметь одно целое покрытие, под которым размещаются разнородные помещения, или сочетание элементарных секций, покрывающих отдельные помещения. Оба этих решения обеспечивает определенный архитектурный эффект сооружения.

Для висячих вантовых покрытий характерна широкая палитра конструктивных форм. Чаще всего это сочетания или пересечения в плане частей окружностей, эллипсов, парабол.

Конструкции и архитектурные композиции, созданные на основе произвольного плана, дают разнообразные зачастую совершенно неожиданные объемные решения общественных зданий и сооружений.

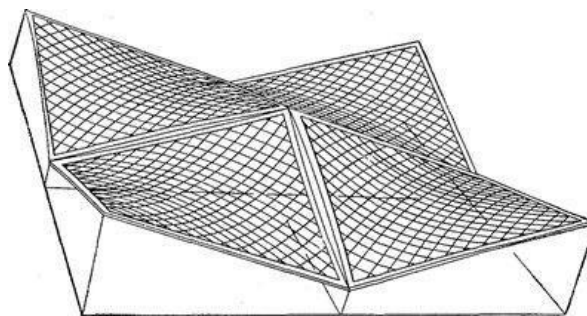


Рис. 8 - Байтовое покрытие, состоящее из четырех гиперболических параболоидов

Одной из наиболее распространенных поверхностей вантовых покрытий является поверхность гиперболического параболоида. При этом сеть чаще всего представляет собой два семейства взаимно перпендикулярных вант, имеющих максимальную по величине (для данной поверхности) и различную по знаку кривизну. Такие поверхности дают возможность создавать экономичные предварительно напряженные сети, обладающие достаточной жесткостью.

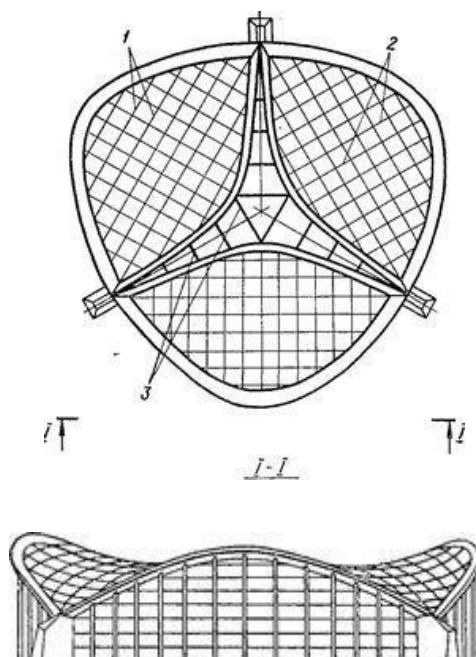


Рис. 9 - Покрытие на опорном контуре в виде трех наружных и трех внутренних пересекающихся арок:
1,2 – натягающие и несущие ванты; 3 – жесткие связи между арками.

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000

Лист

18

Не случайно большинство осуществленных вантовых покрытий имеют поверхность гиперболического параболоида или близкую к нему. Однако применение вантовых сетей, очерченных по поверхности одного параболоида, естественно, ограничивает архитектурные и конструктивные решения покрытий. Поэтому часто используют составные поверхности вантовых сетей, в которых гиперболический параболоид является элементарной составной ячейкой. Подобные композиции можно образовывать из гиперболических параболоидов на любом плане. При помощи трех гиперболических параболоидов на опорном контуре из пересекающихся арок, наклоненных к горизонту под различными углами, можно образовывать также составную поверхность покрытия. Центральные бортовые арки, соединенные между собой, одновременно воспринимают вертикальную нагрузку и, таким образом, дают возможность отказаться от промежуточных опор. Такие схемы целесообразны при перекрытии больших пролетов – от 150 м и более. При перекрытии названных пролетов Байтовым покрытием, очерченным по поверхности одного гиперболического параболоида, перепад высших и низших точек получается огромным, что приводит к бессмысленному увеличению объема здания.

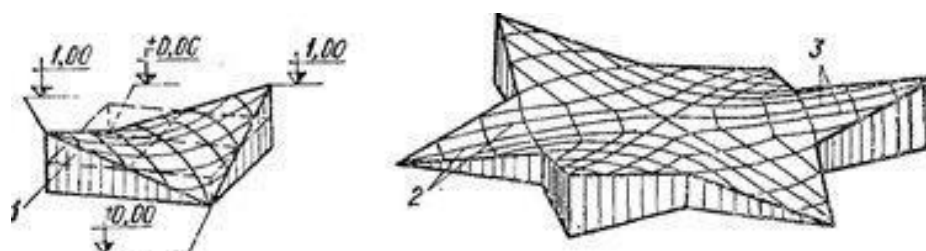


Рис. 10 - Вантовые сети на кусочно-гладких поверхностях:

а, б – формирование соответственно одного гиперболического параболоида и нескольких: 1 – горизонтальная плоскость; 2,3 – напрягающие и несущие ванты

Обычно поверхности рассмотренных схем не являются кусочно-гладкими, когда по линиям сопряжения параболоидов имеются переломы поверхности. Это требует устройства в местах переломов обычно жестких элементов, уравнивающих напряженное состояние поверхности, что вызы-

ваает дополнительные затраты материалов, следовательно, уменьшает эффективность вантовых систем. Оправданными в этом случае являются поиски новых рациональных решений вантовых сетей, которые бы обладали достоинствами сетей гиперболического параболоида и не содержали жестких элементов, кроме опорного контура. Важно также найти общий принцип структурного образования ортогональных сетей на любом опорном контуре.

Если проанализировать формообразование поверхности одного прямого гиперболического параболоида на квадратном плане, то можно заметить, что его поверхность условно членится на четыре участка, каждый из которых также представляет собой параболоид. Очевидно, такая поверхность не имеет разрыва кривизны, а линии сопряжения участков (в данном случае асимптоты – линейчатые образующие) являются прямыми линиями и находятся в одной горизонтальной плоскости. Следуя замеченной особенности и взяв в качестве основной ячейки гиперболический параболоид на ромбическом плане, можно создать более сложные кусочно-гладкие поверхности. При этом количество сопрягаемых параболоидов должно быть четным и высотные отметки внешних углов опорного контура должны чередоваться. Направляя ванты по линиям максимальных кривизн каждого параболоида, достигаем полного соответствия между структурой сети и поверхностью. Одна из таких сетей представлена.

Очевидно, что подобный принцип применим при любом очертании в плане опорного контура. Рассмотрим применение этого принципа к сетям на опорном контуре в виде арок.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		20

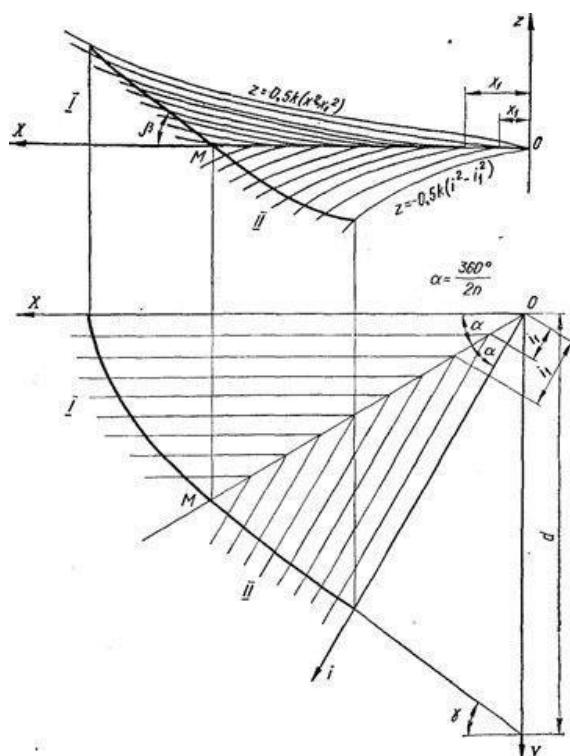


Рис.10 - К определению очертания опорного контура покрытия с кусочно-гладкой поверхностью гиперболических параболоидов

Схема ортогональной вантовой сети на опорном контуре из двух арок, примененная в выставочном здании г. Рэлей (США), стала классической и занимает одно из главных мест во всем многообразии вантовых покрытий. В ней гармонично сочетаются рациональные формы, поверхность и очертание опорного контура. Однако создать рациональную ортогональную вантовую сеть на опорном контуре из трех и более наклонных к горизонту арок, используя лишь два направления нитей относительно всей поверхности, не представляется возможным. В этом случае нити имеют различные кривизны с недопустимо малыми величинами, появляются нежелательные сплюсненные зоны поверхности.

Равнопрочные структуры сетей вантовых покрытий.

Большой интерес представляет направление развития конструктивных форм покрытий, сеть которых была бы равнопрочной и обладала свойством уравнивать усилия в элементах при действии произвольной вертикальной нагрузки. Эффект использования прочностных характеристик применяемых материалов в таких сетях будет максимальным.

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000

Лист

21

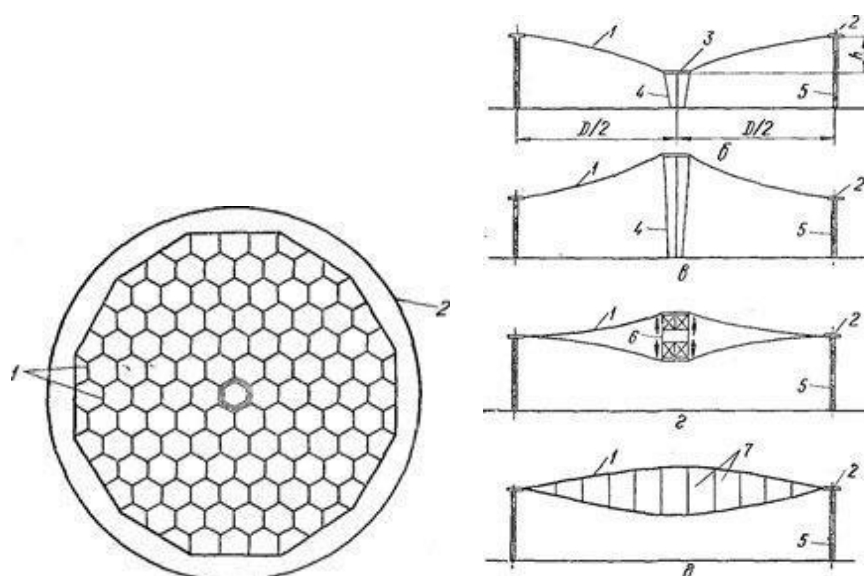


Рис. 11 - Схемы вантовых покрытий с шестиугольной структурой сети:

а – план; б, в – однослойное покрытие соответственно с внутренним и наружным отводом воды; г, д – двухслойное соответственно с центральным барабаном и с распорками: 1 – пантовая сеть; 2,3 – соответственно опорные внешний и внутренний контуры; 4 – центральная опора; 5 – наружные опоры по контуру; б – раздвижной барабан; 7 – распорки

Рассмотрим пологую систему, состоящую из трех элементов-вант, сходящихся в одном узле под углом 120° друг к другу. Из условия равновесия узла в горизонтальной плоскости следует, что под действием узловой вертикальной силы горизонтальные составляющие усилий в вантах равны. Присоединяя к каждому свободному концу такой системы последовательно еще по два элемента и соблюдая принятый закон образования узла, можно получить вантовую сеть шестиугольной структуры, обладающую свойством равенства усилий во всех ее элементах. В связи с пологостью поверхности такой сети ее ячейки практически сохраняют в плане форму правильных шестиугольников как в нагруженном, так и незагруженном состояниях. В силу статической определимости работы узлов одинаковые усилия в элементах будут возникать также при действии различных по величине и расположению узловых сил.

Под одинаковыми усилиями подразумеваются усилия, возникающие от одного произвольного нагружения вантовой сети. При количественном и качественном изменении внешней нагрузки соответственно изменяются усилия

в элементах, оставаясь при этом равными по всей сети. Аналогичное явление возникает в отдельной пологой гибкой нити, когда при приложении к ней различных по величине вертикальных сил усилие в нити (распор) является по всей длине постоянной величиной. Всю шестиугольную структуру вантовой сети в этом смысле в статическом отношении можно трактовать как пространственную одиночную гибкую нить. Шестиугольная сеть равного натяжения может рассматриваться также как дискретная модель уравнения Лапласа.

Предлагаемая структура дает возможность разработать различные схемы вантовых покрытий.

Однослойное вантовое покрытие с внутренним отводом воды представляет собой систему вант шестиугольной структуры, натянутых на опорный внешний контур, очерченный по окружности. Предварительное натяжение сети осуществляется притягиванием ее к центральной опоре, верх которой располагается ниже положения внешнего опорного контура. Структура сети и принцип предварительного натяжения обеспечивают поверхность вращения отрицательной гауссовой кривизны. Такую же поверхность может иметь лишь радиально-кольцевое шатровое покрытие.

Покрытие с шестиугольной структурой сети является родственным радиальным системам покрытия, однако обладает многими преимуществами. Предварительное натяжение радиальных систем производится путем поддержания растягивающих напряжений в вантах при одновременном замоноличивании швов между железобетонными плитами, поэтому применение плит заполнения без связи в работе их с вантами невозможно. Предлагаемая схема позволяет применить для ограждающих конструкций панели из синтетических материалов и легких сплавов без обеспечения совместной работы их с вантовой сетью. Величина распора во всех элементах сети постоянна. Это обеспечивает идеальные условия работы опорного контура, являющегося безизгибным при любой неравномерной нагрузке. Применение одного типо-

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		23

размера ограждающих плит и единой конструкции узлов пересечения вант дает возможность проектировать максимально унифицированные покрытия различных пролетов.

При необходимости наружного отвода атмосферных осадков может применяться схема покрытия. В этом случае предварительное натяжение сети осуществляется оттягиванием ее от горизонтальной плоскости вверх при помощи центральной опоры.

Возможна схема двухслойного байтового покрытия с использованием шестиугольной структуры сети, каждый слой которой очерчен по поверхности отрицательной кривизны. Предварительное напряжение осуществляется раздвижкой центральных траверс специального барабана при помощи домкратов.

В двухслойном покрытии с поверхностью положительной гауссовой кривизны предварительное натяжение осуществляется постановкой распорок в каждый узел шестиугольной сети. Затруднения конструктивного порядка могут отнести эту схему в область теоретических решений, однако с точки зрения формообразования вантовых покрытий такая схема представляет интерес.

Недостатком сети шестиугольной структуры является ее многодельность, обусловленная тем, что ячейки сети изготавливаются из отдельных сравнительно коротких элементов, которые необходимо соединять в каждом узле. Это обстоятельство затрудняет применение для вант стальных тросов. Поэтому целесообразно создать систему, которая обладала бы свойством сети шестиугольной структуры, но имела бы более длинные элементы с минимальным количеством сложных узлов пересечения вант. Этой цели отвечают покрытия.

Основная идея схемы заключается в том, что два семейства перекрестных вант у контура переходят в систему коротких вант, направленных под углом 120° к основным вантам.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		24

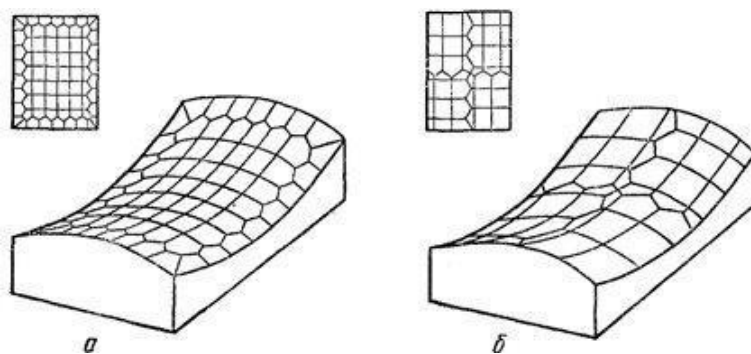


Рис. 12 - Сети с равными усилиями в элементах:
а – с «выравнивающей» зоной у контура; б – то же, в пролете

Это обеспечивает равенство усилий в вантах, примыкающих к таким узлам, а вследствие проскальзывания перекрестных вант в пролетных узлах – равенство усилий во всех остальных вантах. Форма опорного контура при этом может быть произвольной.

Выравнивание усилий можно получить как для всех элементов сети (путем соответствующего соединения групп вант в углах), так и для двух групп вант – несущих и натягающих. При выравнивании усилий во всех элементах схема имеет повышенную деформативность, так как влияние кривизны нитей на работу проявляется незначительно. По статической работе она аналогична плоской сети с равными усилиями во всех элементах. Очевидно, что более рационально применять схему с выравниванием усилий отдельно для несущих и натягающих вант.

Выравнивание усилий можно достичь не только путем расположения коротких элементов указанной структуры у контура, но и в пролете перекрестных систем и систем с параллельными нитями. Эти схемы эффективны при восприятии односторонних и неравномерных нагрузок.

К качественно новым результатам приводит применение принципа выравнивания усилий к сетям треугольной структуры. Если однослойную вантовую сеть треугольной структуры «раздвинуть» в узлах вертикальными распорками таким образом, чтобы ванты трех направлений попеременно опирались в верхних и нижних узлах распорок и примыкали бы к узлам под углом в плане 120° друг к другу, получаем важное свойство такой схемы: при дей-

ствии любой вертикальной нагрузки усилия в вантах будут уравнены по трем группам, так как существует всего три независимых направления, образующих замкнутые шестиугольники. Каждый конец распорки развязан в трех направлениях, составляющих в плане углы 120° , причем направления при-
мыкания вант у верхних и нижних узлов повернуты в плане на 60° относительно друг друга.

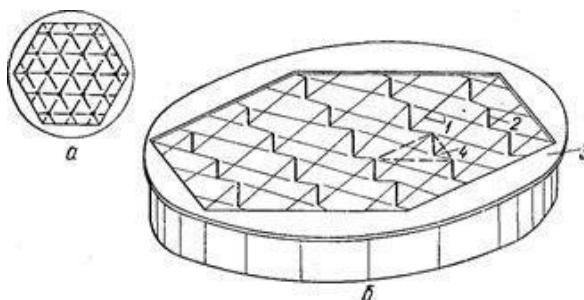


Рис. 13 - Вантовое покрытие с выравниванием усилий по трем группам элементов:

а – план; б – аксонометрия: 1 – ванты; 2 – распорки; 3 – бортовой элемент; 4 – плита

Эта схема относится к классу пологих систем. В стадии предварительного напряжения предлагаемая схема обеспечивает наличие всего одного типа усилий во всех элементах, что значительно облегчает выполнение предварительного напряжения. Варьируя длину распорок, можно обеспечить соответствующую форму покрытия.

Вантовые покрытия относятся к классу так называемых мгновенно-жестких систем и даже при наличии предварительного напряжения обладают повышенной деформативностью. Этот недостаток является главным препятствием в случае применения вантовых систем для перекрытий требования к жесткости которых более повышены. В определенной мере он устранен в схеме, образованной путем соединения по вертикали двух сетей таким образом, что нижние узлы распорок верхней сети совпадают с верхними узлами распорок нижней сети, т.е. путем параллельного переноса по вертикали нижней сети на величину высоты распорки.

Верхние и нижние узлы распорок по-прежнему раскреплены в трех направлениях, а средний узел раскреплен шестью вантами. Образованная та-

ким образом схема обладает важным свойством – геометрической неизменяемостью, а, следовательно, повышенной жесткостью. В силу структуры сети равенство усилий достигается лишь в каждом трех вантах, примыкающих к верхним или нижним узлам распорок.

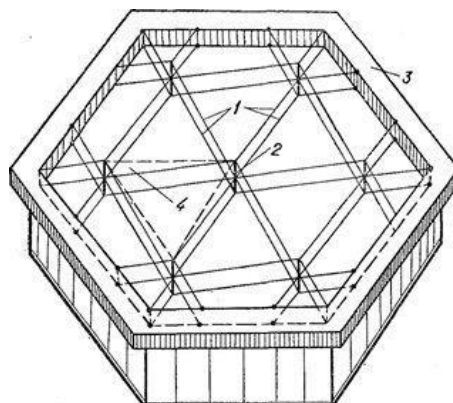


Рис. 14 - Байтовое покрытие треугольной структуры повышенной жесткости:

1 – ванты; 2 – распорка; 3 – опорный контур; 4 – сборная плита

5 Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий

Проволочные тросы (канаты).

Основной конструктивный материал вантовых покрытий изготавливается из стальной холодноотянутой проволоки диаметром 0,5 – 6мм, с пределом прочности до 220 кг/мм. Различают несколько типов тросов:

- спиральные тросы (рис. 15,а) , состоящие из центральной проволоки, на которую спирально навиты последовательно в левом и правом направлении несколько рядов круглых проволок;

- многопрядевые тросы (рис. 15, б, в), состоящие из сердечника (пенькового каната или проволочной пряди), на который навиты односторонней или перекрестной круткой проволочные пряди (пряди могут иметь спиральную свивку). В этом случае трос будет называться спиральнопрядевым;

- закрытые или полужакрытые тросы (рис. 15 ,г,д), состоящие из сердечника (например, в виде спирального троса), вокруг которого навиты ряды проволок фигурного сечения, обеспечивающие их плотное прилегание (при полужакрытом решении трос имеет один ряд навитки из круглых и фигурных проволок);

– тросы (пучки) из параллельных проволок (рис. 16 ,е), имеющие прямоугольное или многоугольное сечение и связанные между собой через определенные расстояния или заключенные в общую оболочку;

– плоские ленточные тросы (рис. 17 ,ж,з), состоящие из ряда витых тросов (обычно четырех прядевых) с попеременной правой или левой круткой, связанных между собой одинарной или двойной прошивкой проволокой или тонкими проволочными прядями, требуют надежной защиты от коррозии. Возможны следующие способы антикоррозийной защиты тросов: оцинкование, лакокрасочные покрытия или смазки, покрытие пластмассовой оболочкой, покрытие оболочкой из листовой стали с нагнетанием в оболочку битума или цементного раствора, обетонирование.

Окончания тросов должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечивать прочность окончания не меньше прочности троса и передачу усилий от троса на другие элементы конструкции.

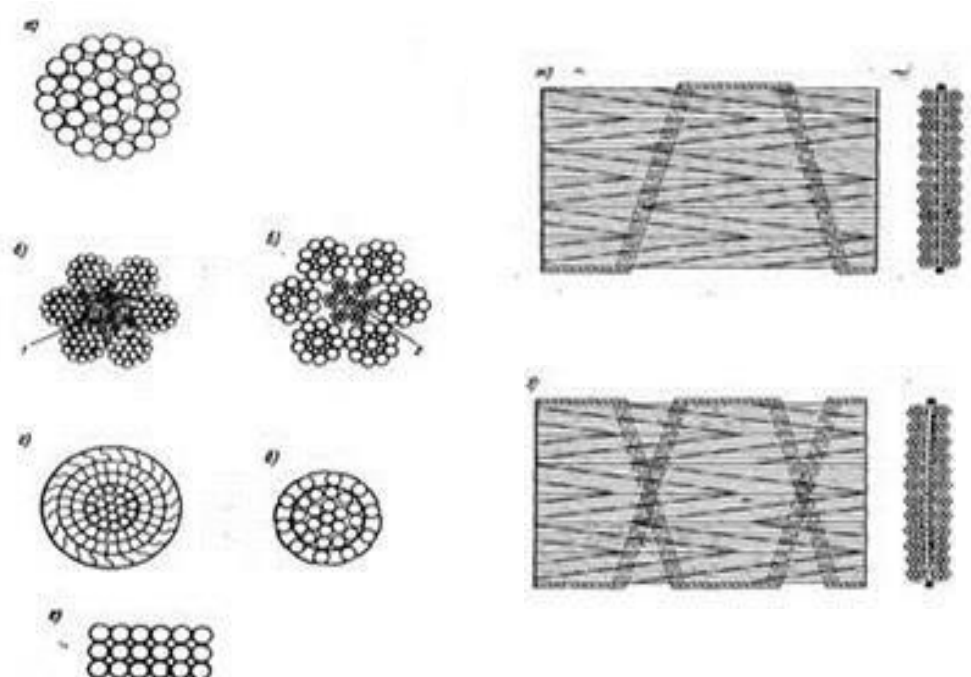


Рис.15 - Типы проволочных тросов

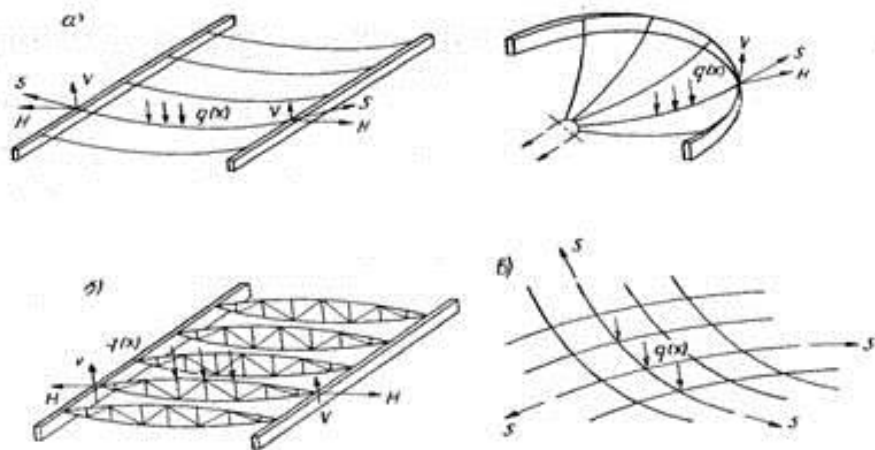


Рис.16 - Основные типы вантовых систем

Концевое крепление тросов.

Традиционный вид концевого крепления тросов – петля со сплеткой (рис. 17, а), когда конец троса распускается на пряди, которые вплетаются в трос. Для обеспечения равномерной передачи усилия в соединении в петлю вкладывают коуш. По длине тросы сращивают также сплеткой, кроме закрытых соединений.

Вместо сплетки для скрепления и сращивания тросов часто применяют зажимные соединения:

- запрессовывание обеих ветвей троса при петлевом креплении в овальную муфту из легкого металла, внутренние размеры которой соответствуют диаметру троса (рис. 17, б);

- винтовые соединения, когда конец троса распускают на пряди, которые укладывают вокруг стержня с винтовой нарезкой, а затем запрессовывают в муфту из легкого металла (рис. 17, в);

- крепление посредством хомутов (рис. 17, ж), не рекомендуемых для напряженных тросов вантовых покрытий, так как они с течением времени ослабевают;

- крепление тросов с заливкой металлом, когда конец троса расплетают, очищают, обезжиривают и помещают в коническую внутреннюю полость

специальной муфты-наконечника, а затем заливают муфту расплавленным свинцом или сплавом свинца с цинком (возможна заливка бетоном);

- клиновые крепления тросов, редко применяемые в строительстве;
- стяжные муфты, применяемые для корректировки длины тросов при монтаже и их предварительного натяжения.

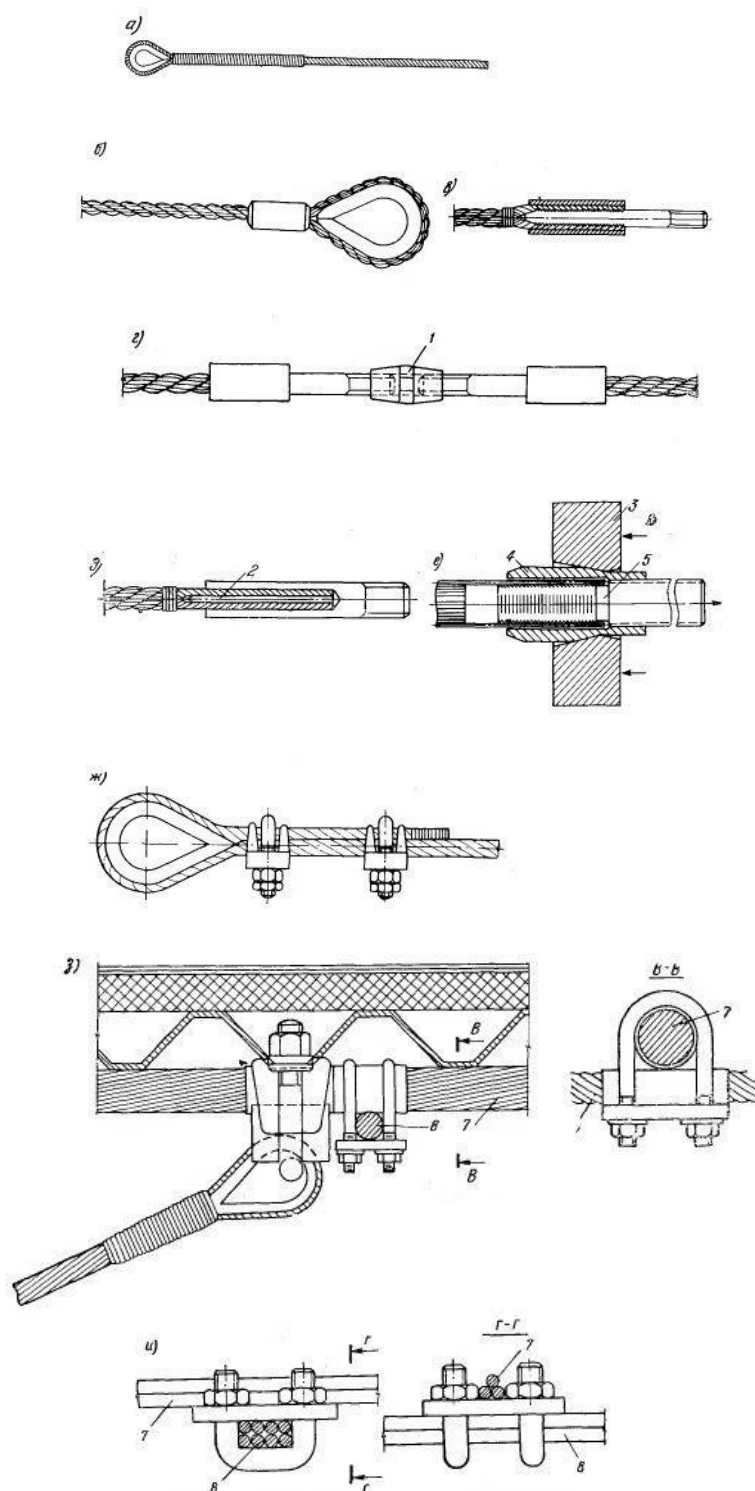


Рис.17 - Виды концевых креплений и соединений проволочных тросов

а – петля со сплеткой; б – петля с обжимной муфтой; в – обжимная муфта с нарезным стержнем; г – сращивание тросов по длине (1 – стяжная муфта); д – обжимная гильза (2 – стальной стержень); е – устройство обжимной муфты (3 – оправка; 4 – муфта; 6 – нарезной стержень); ж – петля с хомутами; з – соединение несущих и натяжных тросов покрытия Рэлей-арены США; и – то же, покрытия выставочного зала в Лесковаце, Сербия (7 – несущий трос; 8 – стабилизирующий трос)

Хомуты специальной конструкции применяют также в узлах тросовых ферм системы Яверта (рис. 18). Тангенциальные составляющие усилий в элементах решетки передаются через хомуты на поясной трос благодаря трению в зажимах; при расчете усилий было учтено возможное поперечное обжатие троса.

В вантовых покрытиях применяют крепление тросов с заливкой. При устройстве такого крепления конец троса расплетают, очищают, обезжиривают и помещают в коническую внутреннюю полость специальной муфты-наконечника. Затем конец троса заливают в муфте расплавленным при температуре 350–460°C свинцом или сплавом свинца с цинком. Муфта может быть выполнена с кольцом, с резьбой или проушинами (рис. 19 а,в).

Тросы, которым придается предварительное натяжение, также выполняют со специальными наконечниками различной формы, заливаемыми металлом или бетоном. При заливке следует тщательно подбирать марку бетона, обеспечивать достаточную длину заделки расплетенного конца троса, а также принимать меры, предотвращающие расслоение бетона.

Для корректировки длины тросов при монтаже, а также для предварительного натяжения тросов (при малых пролетах) применяют стяжные муфты.

Анкерные узлы.

Анкерные узлы служат для восприятия усилий в тросах и передачи их на опорные конструкции. В предварительно-напряженных вантовых покрытиях они используются также для предварительного натяжения тросов.

На рис. 18, а показана анкеровка радиального троса кругового вантового покрытия в сжатом опорном кольце. Чтобы обеспечить свободное перемещение троса при изменении угла его наклона, в опорном кольце и примыкающей к нему оболочке покрытия устроены конические гильзы, заполненные битумом. Жесткое опорное кольцо и гибкая оболочка разделены деформационным швом.

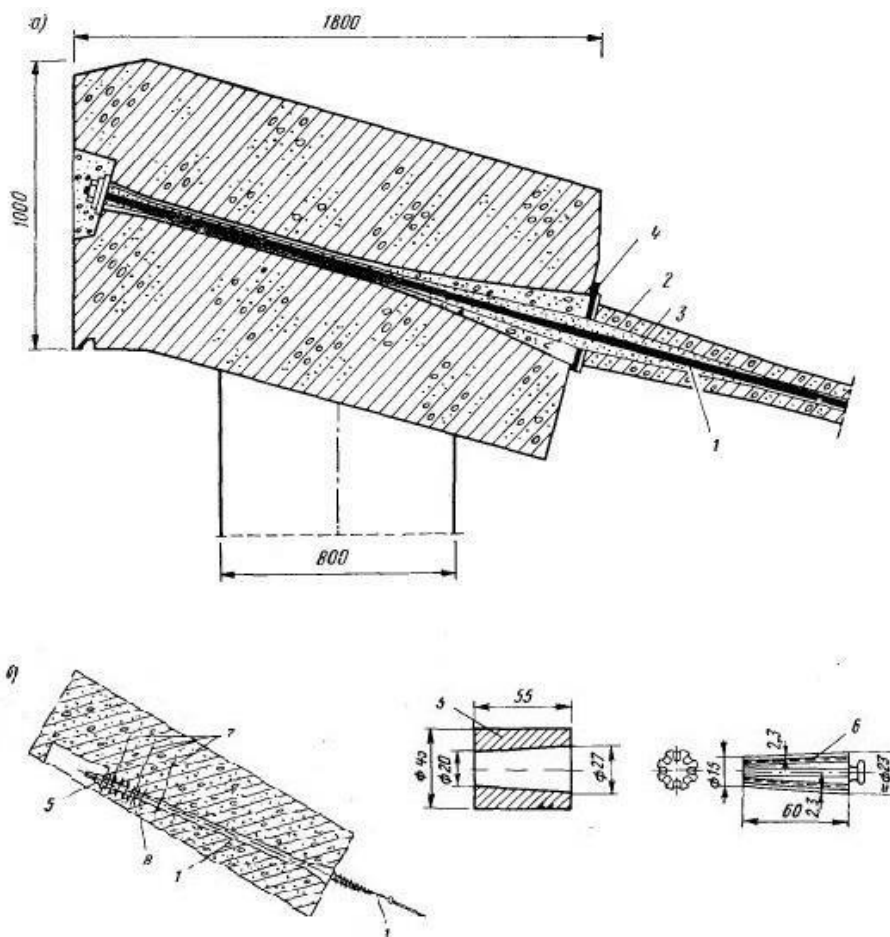


Рис. 20 - Виды узлов вантовых покрытий

а – в сжатом опорном кольце кругового покрытия; б – в опорной арке покрытия; 1 – трос; 2 – трубка из листовой стали; 3 – заливка битумом; 4 – резиновая прокладка; 5 – коническая муфта; 6 – клин; 7 – хомуты; 8 – спиральная арматура

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000

Лист

33

Покрытия и кровли.

Вантовые конструкции более деформативны, чем другие типы конструкций; поэтому и покрытие по вантам должно быть достаточно гибким, чтобы под нагрузкой в нем не образовывались трещины и не раскрывались швы. Кровли по вантовым покрытиям выполняются из стальных или алюминиевых листов, асфальтной или битумной массы, рубероида, технических тканей и т.п. В зависимости от назначения сооружения покрытие может быть теплым или холодным.

В зависимости от типа вантовой системы применяют тяжелую либо легкую конструкцию покрытия.

Тяжелые покрытия. Масса их достигает 170–200 кг на кв.м; выполняют их преимущественно из железобетона. Иногда используют армированный лёгкий бетон. Для сборных покрытий иногда применяют плоские плиты, но в основном ребристые, толщиной (между ребрами) 25 – 35мм. Плиты могут иметь прямоугольное или трапециевидное очертание, в зависимости от расположения тросов. Сборные плиты обычно подвешивают между тросами; швы между плитами замоноличивают (рис. 21, а,б).

При устройстве предварительно-напряженных висячих покрытий одинарной кривизны ванты выполняют из круглой стали и размещают в ребрах, собираемых из отдельных железобетонных элементов; в этом случае плиты укладывают непосредственно по ребрам (рис. 21, в).

Если покрытие выполнено в монолитном железобетоне, то бетон укладывают по опалубке, размещаемой ниже тросов либо между ними.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		34

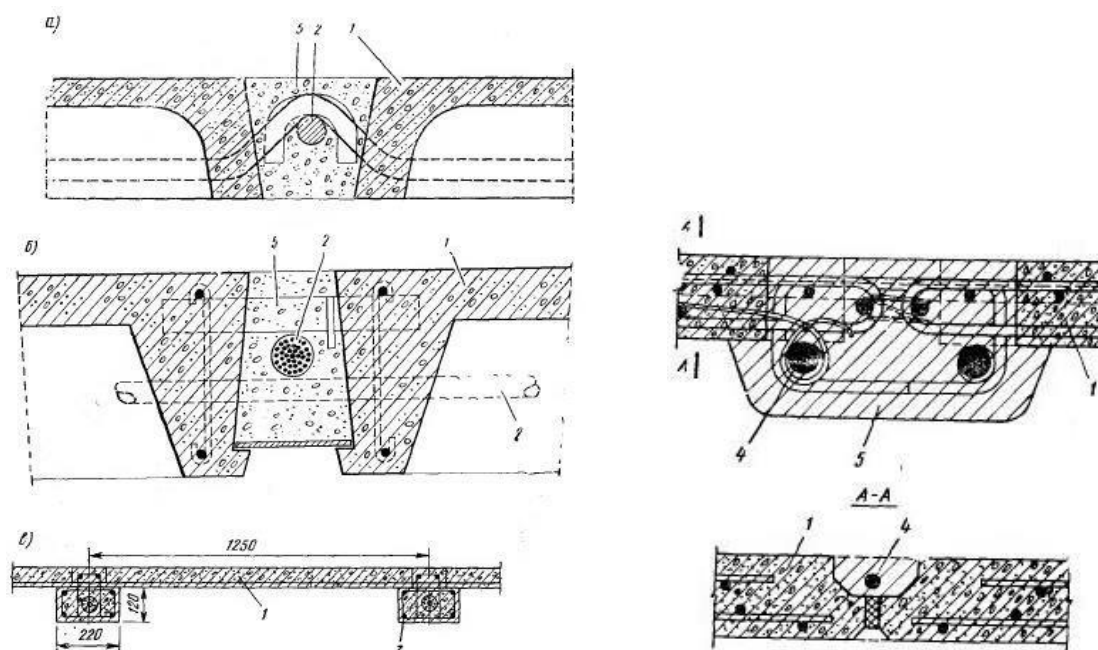


Рис. 21 - Узлы вантовых покрытий с заполнением из сборных железобетонных плит

а – подвеска плит к радиальным тросам кругового покрытия; б – то же, к тросовой сетке; в – укладка плит по сборным предварительно напряженным железобетонным ребрам; г – укладка плит по стержневым вантам с устройством монолитных ребер; 1 – сборные плиты; 2 – тросы; 3 – сборные ребра; 4 – напряженные стержни; 5 – монолитный бетон

6 Основы расчета подвесных покрытий

6.1 Расчет висячих оболочек с параллельными вантами

Сложность определения усилий в вантах обусловлена нелинейной зависимостью усилий от нагрузки. Поэтому здесь и далее в пособии предлагаются упрощенные приемы статического расчета вантовых покрытий. Вместе с тем их использование позволяет проектировщику разработать с достаточной степенью точности предварительное конструктивное решение покрытия в целом.

В качестве расчетной схемы принимают провисающую нить с опорами в одном или разных уровнях (рис. 22, а, б). Нагрузка q от массы кровли и снега распределяется равномерно на 1 п. м ванты с грузовой полосы равной

шагу

вант(рис.2в).

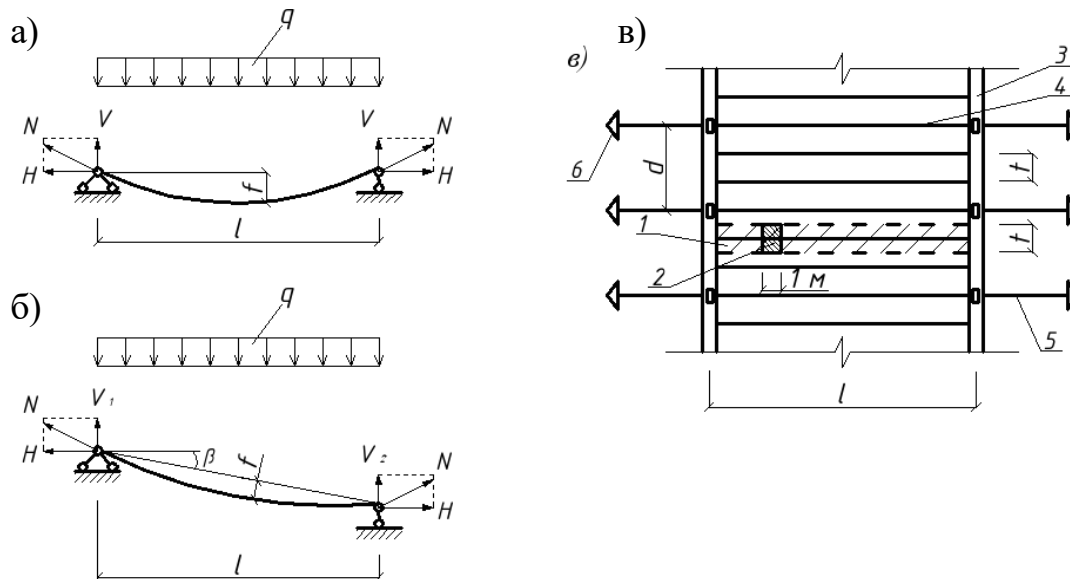


Рис. 22 - Расчетная схема параллельных вант в висячей оболочке:
а – с опорами в одном уровне, б – с опорами в разных уровнях,
в – фрагмент плана покрытия; 1 – грузовая полоса, 2 – грузовая площадка на
1 п. м ванты, 3 – бортовой элемент, 4 – ванта,
5 – оттяжка, 6 – анкер

Распор ванты H без учета деформации ванты от растяжения определяют по формуле:

$$H = \frac{ql^2}{8f}$$

При закреплении вант в одном уровне вертикальная составляющая V опорной реакции составит:

$$V = \frac{ql}{2}$$

Наибольшее растягивающее усилие $N_{\max}$ возникает в ванте у опоры, а наименьшее $N_{\min}$ – в середине пролета. Эти усилия будут соответственно равны:

$$N_{\max} = \sqrt{H^2 + V^2} = H \sqrt{1 + \frac{16f^2}{l^2}}$$

$$N_{\min} = H$$

При расположении точек закрепления ванты в разных уровнях (рис. 22б) вертикальная составляющая будет равна:

$$V_1 = \frac{ql}{2} + H * tg\beta > V_2 = \frac{ql}{2} - H * tg\beta$$

поэтому на верхней опоре ванта испытывает максимальное растяжение/

Определение расчетной нагрузки при вычислении растягивающих усилий в вантах в стадии возведения покрытия производят с учетом дополнительного растяжения вант при его предварительном напряжении по формуле:

$$q = [q_{\text{п}} + (q_{\text{кр}} + q_{\text{сн}}) * \gamma_f] * t$$

где $q_{\text{п}}$, $q_{\text{кр}}$, $q_{\text{сн}}$ -расчетная нагрузка на 1 м2 покрытия плит, кровли и снега соответственно;

γ_f -1,2 1,3 – коэффициент надежности по нагрузке.

Прогиб ванта при равномерно распределенной нагрузке составляет:

$$\Delta f = \frac{3}{128} \frac{u^2 q_n l^4}{f^2 EA}$$

где $u = 1 + \frac{8f^2}{3l^2}$ - коэффициент, учитывающий превышение первоначальной длины ванта «в заготовке» над перекрываемым пролетом;

E , A – модуль упругости и площадь сечения ванта соответственно;

q_n – нормативная нагрузка до предварительного напряжения.

Длина ванта «в заготовке» составляет при опорах в одном уровне:

$$S = l \left[1 + \frac{8f^2}{3l^2} - \frac{H}{EA} \right]$$

При опорах в разных уровнях:

$$S = l \left[\frac{1}{\cos\beta} + \frac{8f^2 \cos^3\beta}{3l^2} - \frac{H}{EA \cos^2\beta} \right]$$

Усилие в наклонных оттяжках определяют по формуле:

$$N_0 = \frac{Hd}{t \cos\alpha}$$

Площадь сечения ванта A вычисляют исходя из требований первой группы предельных состояний:

$$A = \frac{1.6N}{k_{\text{п}} R_{un}}$$

					СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		37

где 1,6 – коэффициент надежности по материалу;

k_{π} – коэффициент, учитывающий понижение разрывного усилия каната по отношению к суммарному разрывному усилию проволок (для канатов типа ТК и ЛК k_{π} 0,81 0,85);

$R_{\text{ун}}$ – временное сопротивление проволок каната разрыву (для канатов типа ТК и ЛК в зависимости от диаметра проволоки принимается равным 1176, 1372, 1568, 1666, 1764, 1862 и 1960 МПа).

6.2 Расчет висячих оболочек с радиальными вантами

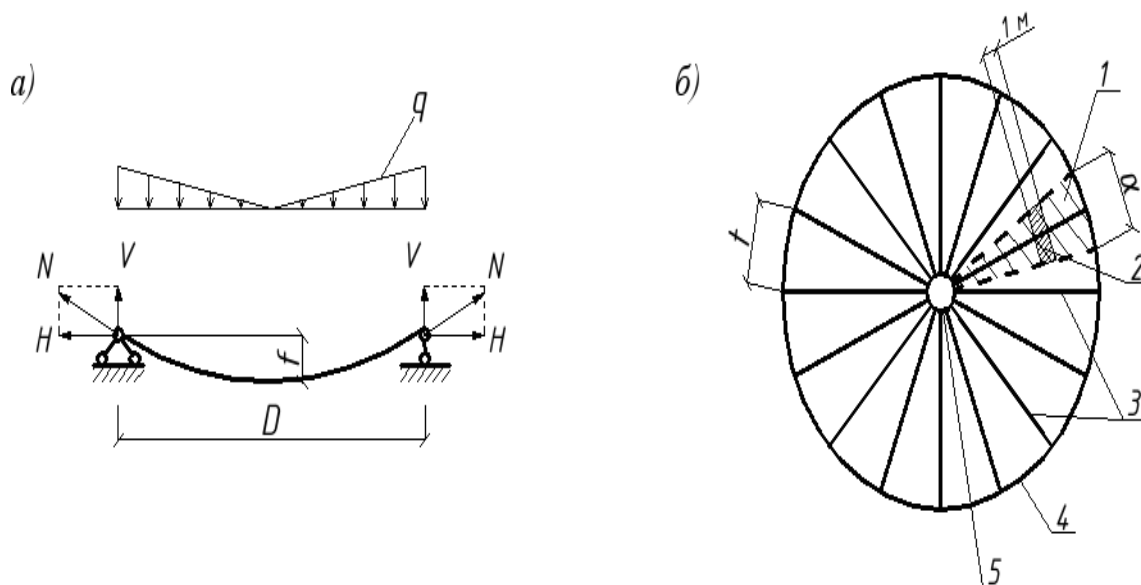


Рис. 3. Расчетная схема висячей оболочки с радиальными вантами (а) и план покрытия (б): 1 – грузовая площадь ванты, 2 – грузовая площадь на 1 п. м ванты, 3 – ванты, 4 – внешнее опорное кольцо, 5 – внутреннее опорное кольцо

Распор определяют по аналогии с покрытиями из параллельных вант, т.е. без учета упругих деформаций вант:

$$H = \frac{qD^2}{24f}$$

Максимальное растягивающее усилие в ванте возникает на внешнем опорном кольце:

$$N_{\text{max}} = \sqrt{H^2 + V^2} = H \sqrt{1 + \frac{36f^2}{D^2}}$$

где $V = \frac{qD}{4}$ - вертикальная составляющая на опоре (рис. 3).

Нагрузка q определяется по формулам из пункта 3, при максимальном шаге вант на наружном кольце.

Внешнее кольцо сжимается усилием, равным по абсолютной величине усилию, растягивающему внутреннее кольцо:

$$N_{\text{внеш}} = N_{\text{внутр}} = \frac{HD}{2t}$$

Прогиб ванты в центре покрытия составляет:

$$\Delta f = \frac{5}{864} \frac{u^2 q_n D^4}{f^2 EA}$$

где $u = 1 + \frac{18f^2}{5D^2}$ - коэффициент превышения длины ванты к пролету.

Длину ванты «в заготовке» определяют по формуле:

$$S = D \left[1 + \frac{18f^2}{5D^2} - \frac{H}{EA} \right]$$

Для определения площади сечения ванты используется формула из пункта 3, а определение требуемой площади сечения центрального кольца из стали производят по формуле:

$$A \geq \frac{N_k}{R_y}$$

где R_y – расчетное сопротивление растяжению прокатной стали.

Внешнее кольцо работает на сжатие, поэтому кроме расчета на прочность его проверяют на устойчивость в своей плоскости. Критическое усилие сжатия с учетом влияния вант определяют по формуле:

$$N_{\text{кр}} = \frac{2E_k l_k}{r^2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{cr^2}{E_k l_k}} \right] \geq N_k$$

где r – радиус кольца;

$E_k l_k$ – жесткость сечения кольца на изгиб в собственной плоскости;

$C = N_k / e$ – коэффициент, характеризующий работу упругого основания;

$e = H / EA$ – относительное удлинение ванты в плоскости кольца.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		39

Если кольцо выполнено из железобетона, то в формуле жесткость принимают равной:

$$E_k l_k = \frac{0.85 E_b b h^3}{12}$$

где E_b – модуль упругости бетона.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		40

Заключение

На объемно-пространственную структуру зданий, образованных вантовыми конструкциями влияют:

1. форма сооружения в плане;
2. форма и вид опорного контура;
3. форма геометрической поверхности покрытия.

Данные особенности структуры здания формируются в зависимости от принятой конструктивной схемы висячих покрытий, которые подразделяются на:

- струнные,
- однопоясные,
- двухпоясные,
- сетчатые,
- подвесные.

Форма плана зданий, образованных вантовыми конструкциями, может быть:

- криволинейная (круг, эллипс, овал, параболическая кривая, спираль, комбинированная с применением кривых различных форм и др.);
- прямолинейная (квадрат, прямоугольник, трапеция, многоугольник и др.);
- комбинированная (сочетание кривых и прямолинейных элементов).

На основе проведенного анализа возможных вариантов очертания в плане зданий с вантовыми конструкциями можно заключить следующее:

- круглые и овальные планы имеют при одинаковой полезной площади наименьшую площадь ограждения (стены, остекление) и лучшие технико-экономические показатели по конструктивным схемам;
- прямоугольные и квадратные планы имеют большую площадь ограждения, но для зданий сравнительно небольших пролетов (12–60 м) они могут найти широкое применение;

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		41

– произвольный план дает простор для творческой фантазии инженера и архитектора и свободу для функциональной организации сооружений, однако при этом необходимо избегать чисто формальных поисков новых решений.

Каждая конструктивная схема вантового покрытия требует применения определенного вида опорных конструкций.

Однопоясные и двухпоясные покрытия с радиальным расположением вант:

– наружный опорный контур (замкнутый или разомкнутый, жесткий или гибкий);

– внутренний опорный контур (свободно висящее металлическое кольцо или кольцо на опорной стойке, раздвижной барабан), возможен вариант его отсутствия при определенных конструктивных условиях.

					СКБ «ПЗиС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		42

Список использованных источников

1. Трущов, А.Г. Пространственные металлические конструкции / А.Г. Трущов. – М.: Стройиздат, 1983.
2. Мандриков, А.П. Примеры расчета металлических конструкций. учеб. пособие / А.П. Мандриков. – СПб.: Лань, 2012.
3. Федулов, В.К. Ангары / В.К. Федулов. – М., 2010.
4. Трофимович, В.В. Проектирование предварительно напряженных вантовых систем / В.В. Трофимович, В.А. Пермяков. – Киев: Изд-во «Будивельник», 1970.
5. Дмитриев, Л.Г. Вантовые покрытия (расчет и конструирование) / Л.Г. Дмитриев, А.В. Касилов. – Киев: Изд-во «Будивельник», 1974.
6. Кирсанов, Н.М. Висячие и вантовые конструкции / Н.М. Кирсанов. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции / В.В. Михпайлов. – М.: АСВ, 2002.
8. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. – М.: ФГУП ЦПП, 2005.
9. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ГУП ЦПП, 1988.
10. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ФГУП ЦПП, 2006.
11. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004.
12. Зюлко, Е. Монтаж стальных конструкций / Е. Зюлко, Г. Орлик. – М.: Стройиздат, 1984.
13. Торкатюк, В.И. Монтаж конструкций большепролетных зданий / В.И. Торкатюк. – М.: Стройиздат, 1985.

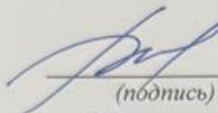
					СКБ «ПЗuС».1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		43

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

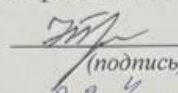
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС

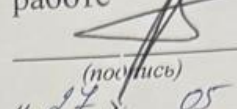

(подпись) Е.М. Димитриади
«22» 05 2025 г.

Декан факультета кадастра и
строительства


(подпись) Н.В. Гринкруг
«22» 05 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной
работе


(подпись) А.В. Космынин
«27» 05 2025 г.

АКТ

о приемке проекта СКБ «Проектирование и информационное моделирование
зданий и сооружений»

«Исследование эффективности вантовых конструкций»

г. Комсомольск-на-Амуре

«27» 05 2025 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- Е.В. Журавлева – руководитель СКБ,
- Н.В. Гринкруг – декана ФКС

со стороны исполнителя

- О.Е. Сысоев – руководителя проекта,
- М.Е. Надежкин – 2ПСб-1,
- А.И. Яшков – 2ПСб-1

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Исследование эффективности вантовых конструкций», в составе:

1. Пояснительная записка

Руководитель проекта

О.Е. Сысоев

Исполнители проекта

М.Е. Надежкин

А.И. Яшков
